7T

УДК 519.876:55.435.62(477.75)

В.М. Таран
Європейський університет, Ялтинська філія, м. Ялта, Україна
victoriya_yalta@ukr.net

Навчання мережі Байєса при моделюванні зсувних процесів Південного берега Криму

Досліджено загальні закономірності побудови регресійної моделі зсувного процесу, що містить авторегресійну складову, на прикладі Південного берега Криму. Доданий керуючий чинник – завчасне вкладення коштів у протизсувні заходи, побудовано мережу довіри Байєса для прогнозу загальної вартості відновлювальних робіт і таких, що укріплюють схили, а також проведено її навчання.

Вступ

Задача дослідження та моделювання зсувних процесів Південного берега Криму обумовлена об'єктивними причинами, які визначаються присутністю в даній системі чинника ризику непередбачених ситуацій. Постійне ускладнення кліматичних, екологічних, техногенних та геологічних процесів негативно впливає на господарські об'єкти складних інженерно-будівельних конструкцій у різних куточках планети, від яких цілком залежить людина. Катастрофічні наслідки екзогенних процесів проявляють себе в погіршенні надійності і довговічності будівель, а також їх руйнації [1].

Таким чином, актуальною стає проблема системного аналізу динаміки зсувних процесів, а також оцінювання обсягу коштів, що потребують різні регіони для покриття матеріальних збитків від руйнації об'єктів господарювання внаслідок зсувів.

Цим обумовлена необхідність розробки нових підходів, методів, моделей, алгоритмів, інтелектуальних систем, які могли б поліпшити процес вироблення і прийняття управлінських рішень в умовах різнорідної невизначеності в еколого-економічному середовищі.

У наукових дослідженнях, що присвячені прогнозуванню зсувних процесів Південного берега Криму, слабкою ланкою є спрямованість лише на спостереження, моніторинг та експертну оцінку фахівця, відсутність системного підходу, обмежене використання сучасних інформаційних технологій та інтелектуальних систем прийняття рішень.

Метою даної статті є розвиток теорії та методології створення інтелектуальних систем прогнозування зсувних процесів Південного берега Криму з використанням мереж довіри Байєса, задля яких виконується дослідження факторів, за допомогою яких математична модель зсуву, як екзогенного процесу, була б адекватна спостереженням і давала б прогнози, максимально наближені до реальних. Отже, основним критерієм при її побудові обрано адекватність спостереженням, максимально точне прогнозування, як довготермінове, так і короткотермінове, вчасне реагування на будь-які збурення зовнішніх факторів, а також можливість робити прогноз, спираючись на попередні (торішні) спостереження.

Визначена мета статті зумовила необхідність вирішення таких задач:

– дослідження впливу найбільш суттєвих факторів на змінні, які описують зсувні процеси;
– пов'язання вхідних факторів, що пояснюють зсуви, і вихідних змінних, що їх описують, за допомогою математичної моделі – множинної регресії, яка містить авторегресійну складову;
– побудова мережі довіри Байєса для короткотермінового прогнозування зсувних процесів Південного берега Криму і проведення її навчання.

У рамках даної роботи розглядається задача оперативного прогнозування зсувних процесів Південного берега Криму, що є складовою задачі управління екзогенними процесами і пов'язана з мінімізацією вимушених витрат на відновлення ушкоджених об'єктів. Вона має складний характер внаслідок недостатньої формалізації та структурованості, залежності від поточної ситуації, високого рівня невизначеності, обмеження у часі для прийняття рішення.

Побудова регресійної моделі, що містить авторегресійну складову

Зсувні процеси більшою мірою пов'язані з гідрогеологічними чинниками – опадами і сейсмічною активністю, а також сонячною активністю та техногенним навантаженням [2]. Вищеперелічені чинники сприяють виникненню нових зсувів та активізації старих. Таким чином, регресійна модель має містити незалежні фактори: опади, сейсмічна активність і сонячна активність (оцінювати техногенне навантаження в запропонованій моделі немає сенсу тому, що цей показник містить велику долю невизначеності і може як негативно, так і позитивно впливати на зсувні процеси [2]) і результуючий показник: кількість активних зсувів.

Щоб отримати модель, яка була б достовірною і результати моделювання максимально збігалися з результатами спостережень, будемо досліджувати накопичувальний характер вхідних факторів. Розрахунки показують, що слід використовувати не лише показник – опади, тобто кількість опадів за рік, а ще й підсумовувати кількість опадів за два роки, проте кращий результат моделювання дає сума опадів за два гідрогеологічних роки (гідрогеологічний рік починається з жовтня попереднього року і закінчується вереснем поточного) [3]. Сейсмічна активність також дає кращий результат, якщо брати суму річних поштовхів не впродовж одного року, а за три або навіть п'ять попередніх років поспіль. Аналогічна ситуація з сонячною активністю: найкращий показник – сума чисел Вольфа за сім років [4].

Введемо позначення: 2ГГР – кількість опадів за два гідрогеологічних роки, СеА5 – сейсмічна активність за п'ять років, включаючи поточний, СоА7 – сонячна активність за сім років, включаючи поточний, АЗ – кількість активних зсувів. Лінійна модель регресії матиме такий вигляд:

$$\text{АЗ}(t) = a_0 + a_1 \cdot 2\text{ГГР}(t) + a_2 \cdot \text{СеА5}(t) + a_3 \cdot \text{СоА7}(t),$$

де t – рік, на який робиться прогноз, a_0, a_1, a_2, a_3 – параметри моделі, які мають бути розраховані.

Отримана модель показує залежність кількості активних зсувів впродовж поточного року від кількості опадів за два гідрогеологічних роки, сейсмічної активності за п'ять років, сонячної активності за сім років, включаючи в кожний з незалежних факторів результати спостережень за поточний рік. Проте така множинна регресія не повною мірою відображає збурення факторів внаслідок досить тривалого терміну накопичення – п'ять або сім років. Отже, слід розглядати більш просту модель, що містить результати спостережень за один рік:

$$\text{АЗ}(t) = a_0 + a_1 \cdot 2\text{ГГР}(t) + a_2 \cdot \text{СеА}(t) + a_3 \cdot \text{СоА}(t).$$

На першому етапі моделювання побудуємо таблицю кореляції між залежною змінною та незалежними факторами за даними спостережень з 1962 по 2004 роки (табл. 1).

З наведеної таблиці випливає, що дійсно суттєвим є фактор опадів за два гідрогеологічних роки, за ним – сонячна активність, а сейсмічна активність майже ніяк не впливає на кількість активних зсувів. Однак слід зазначити, що фактор СоА має таку особливість: зв'язок між ним і кожним із незалежних факторів більший, ніж

зв’язок між відповідним фактором і залежним показником, тобто на кількість активних зсувів фактори 2ГГР і СеА впливають менше, ніж на них впливає фактор сонячної активності (0,1398 < 0,1609 і 0,3202 < 0,3599). Незважаючи на те, що коефіцієнт кореляції не прямує до одиниці в жодному разі, може статися так, що дві або більше незалежних змінних (факторів) пов’язані між собою лінійною залежністю, тобто може спостерігатися мультиколінеарність.

Таблиця 1 – Кореляція між незалежними факторами і показником, що моделюється

Кореляція	АЗ	2ГГР	СеА	СоА
АЗ	1	0,7349	0,1398	0,3202
2ГГР	0,7349	1	0,0346	0,3599
СеА	0,1398	0,0346	1	0,1609
СоА	0,3202	0,3599	0,1609	1

Визначення рівня мультиколінеарності за своїм змістом близьке до тестування її наявності. Відомо, що коли йдеться про двофакторну модель, то для визначення мультиколінеарності можна обмежитись аналізом парних коефіцієнтів кореляції. Однак, якщо факторів більше ніж два, то аналізу парних коефіцієнтів уже недостатньо. В нашому випадку маємо три фактори, тобто можемо побудувати три множинні регресії відповідно для факторів x_1 – 2ГГР, x_2 – СеА, x_3 – СоА.

$$x_1 = b_0 + b_1 \cdot x_2 + b_2 \cdot x_3;$$
$$x_2 = c_0 + c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_3;$$
$$x_3 = d_0 + d_1 \cdot x_1 + d_2 \cdot x_2.$$

$R_i^2 (i = \overline{1,3})$ є коефіцієнтом детермінації для кожного *i*-го фактора. Він якраз і використовується для визначення ступеня мультиколінеарності. Величина дисперсійно-інфляційного фактора *VIF* (varience inflationary factor) для кожної змінної свідчить про наявність мультиколінеарності ($VIF_i > 10$), або про недостатність зв’язку між *i*-м фактором і всіма іншими ($VIF_i < 10$).

Дисперсійно-інфляційний фактор *VIF* обчислюється за формулою [5]:

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2}.$$

Для виключення мультиколінеарності незалежних факторів проведемо відповідні розрахунки і отриманий результат представимо у вигляді таблиці (табл. 2), з якої можна зробити висновки про наявність або відсутність зв’язку між незалежними факторами.

Таблиця 2 – Обчислення дисперсійно-інфляційного фактора VIF для визначення мультиколінеарності

	$x_1=f(x_2, x_3)$	$x_2=f(x_1, x_3)$	$x_3=f(x_1, x_2)$
Множинний R	0,361	0,163	0,389
R-квадрат	0,130	0,027	0,152
VIF	1,15	1,03	1,18

Таким чином, з таблиці випливає, що дисперсійно-інфляційний фактор *VIF* приблизно дорівнює одиниці (набагато менший за 10), отже, мультиколінеарність відсутня, тобто не слід вилучати жодного фактора з обраної моделі, в попередніх роботах [2-4] вилучалася сонячна активність. Дійсно, майже всі процеси, що відбуваються на нашій планеті, підпорядковані цьому чиннику, його вплив відчувається на кліматичних спостереженнях, на геологічних змінах рельєфу тощо. Безпосередній вплив фактора сонячної активності на зсувні процеси має бути обов’язково врахований у вибраній моделі (вилучати його було би помилкою).

Повернемось до наведеного рівняння множинної регресії. Начебто обрана модель відповідає всім вимогам поставленої задачі, але якщо уважно придивитись, то виникає таке міркування: якщо рік ще не скінчився, то моделювати стає неможливим, тому що сумарні за рік значення факторів невідомі, з іншого боку, якщо рік скінчився, то кількість зсувів відома і прогнозувати її вже не треба.

Постає задача – для отримання якісної надійної моделі зв’язати вхідні фактори, що спостерігалися в попередніх роках (або в попередньому), з результуючим показником, що буде спостерігатися в поточному році, тобто попередні незалежні фактори і майбутній залежний. Таким чином, рівняння множинної регресії має виглядати так:

$$АЗ(t) = a_0 + a_1 \cdot 2ГГР(t-1) + a_2 \cdot СеА(t-1) + a_3 \cdot СоА(t-1).$$

Обчислення отриманої моделі дає досить велику похибку розрахунків, широкий діапазон коливань прогнозованого показника, а також дуже мале значення коефіцієнта детермінації ($R^2 = 0{,}4203$), що унеможливлює прийняття даного рівняння як основного рівняння моделі. Таким чином, модель потребує уточнення або доповнення іншими факторами, які ще не розглядалися.

Спроба ввести в модель авторегресійної складової показник кількості активних зсувів за попередній рік вагомо покращує регресійні показники моделі зсувних процесів Південного берега Криму. Щоб ретельніше наблизитися до поставленої мети, розрахунок проведемо поступово, вибираючи різні види рівнянь. За допомогою пакета «Аналіз даних» засобами Microsoft Excel обчислимо, по-перше, регресійні характеристики (коефіцієнт детермінації та кореляції), а по-друге, параметри регресії для наступних залежностей:

1) $АЗ(t) = a_0 + a_1 \cdot АЗ(t-1) + a_2 \cdot 2ГГР(t)$;
2) $АЗ(t) = a_0 + a_1 \cdot АЗ(t-1) + a_2 \cdot 2ГГР(t) + a_3 \cdot СеА(t) + a_4 \cdot СоА(t)$;
3) $АЗ(t) = a_0 + a_1 \cdot АЗ(t-1) + a_2 \cdot О(t) + a_3 \cdot СеА(t) + a_4 \cdot СоА(t)$;
4) $АЗ(t) = a_0 + a_1 \cdot АЗ(t-1) + a_2 \cdot О(t-1) + a_3 \cdot СеА(t) + a_4 \cdot СоА(t)$;
5) $АЗ(t) = a_0 + a_1 \cdot АЗ(t-1) + a_2 \cdot О(t-1) + a_3 \cdot СеА(t-1) + a_4 \cdot СоА(t-1)$;

де 3-є, 4-е і 5-е рівняння містять замість фактора 2ГГР (кількість опадів за два гідрогеологічних роки) фактор О – кількість опадів впродовж року; перше рівняння має лише два незалежних фактори, але коефіцієнт детермінації та коефіцієнт кореляції майже найвищі, якщо не враховувати друге рівняння, однак для нашої моделі більш логічно обґрунтованим є п’яте (табл. 3).

Таблиця 3 – Результат моделювання множинної регресійної залежності активних зсувів від факторів, що спостерігаються

Моделі	1	2	3	4	5
Регресійна статистика					
Множинний R	0,858	0,861	0,743	0,808	0,739
R-квадрат	0,736	0,741	0,552	0,652	0,546
Стандартна помилка	30,78	31,35	41,20	36,29	41,47
F	54,45	26,40	11,38	17,35	11,12
Y-перетинання	–82,536	–85,223	–3,789	–31,339	–13,032
Змінна X1 (АЗ – 1)	0,495	0,506	0,648	0,586	0,536
Змінна X2 (опади)	0,121	0,125	0,075	0,142	0,069
Змінна X3 (СеА)		0,410	0,170	0,337	0,131
Змінна X4 (СоА)		–0,084	0,072	–0,023	–0,141

Як видно з табл. 3, друга і перша модель мають більш високі показники R, R^2 та F – критерій Фішера, але й в п'ятій моделі, що є зручнішою для моделювання, отримано достовірні результати (R = 0,739, R^2 = 0,546 та F =11,12), що дає можливість вважати модель адекватною спостереженням.

Таким чином, прогнозування на наступний рік зсувних процесів на Південному березі Криму слід проводити за моделлю:

$$АЗ(t) = –13,032 + 0,536·АЗ(t – 1) + 0,069·O(t – 1) + 0,131·CеA(t – 1)– 0,141·CоA(t – 1).$$

Отримана модель множинної регресії є адекватною спостереженням тому, що за критерієм Фішера F = 11,12 при табличному значенні Fтабл. = 5,05E-06 = 0,00000505, тобто розрахункове значення набагато більше табличного, що дає можливість використовувати дане рівняння для прогнозу тощо.

Такий прогноз можна вважати середньотерміновим тому, що термін прогнозування становить досить тривалий відрізок часу – цілий рік. Це пов'язано зі специфікою спостережень за зсувними процесами (у зв'язку з обмеженим фінансуванням дані збираються раз на рік). Отже, регресійна модель дає короткотермінові прогнози, тобто дає розрахунки на один крок вперед, але такий крок розміром в один рік є досить тривалим терміном для прогнозу.

Проте впродовж року можуть відбуватися значні зміни факторів, що впливають на зсувні процеси Південного берега Криму, тому є сенс в побудові нової моделі, яка може вчасно реагувати на різні збурення факторів, тобто модель надаватиме короткотерміновий прогноз, який включатиме строк від одного тижня до двох-трьох місяців. Цим вимогам цілком відповідає мережа довіри Байєса.

Побудова мережі довіри Байєса та її навчання

Зсувні процеси, що відбуваються на Південному березі Криму та в інших районах, мають складний випадковий характер, залежать від багатьох факторів, містять велику долю невизначеності, а тому дуже важко піддаються прогнозуванню.

При моделюванні екзогенних процесів найчастіше використовуються експертні знання про наочну область, які зводяться до набору правил аналізу ситуації і ухвалення рішень, для чого зручно використовувати імовірнісні інструменти, одним з яких є мережа довіри Байєса (МБ).

В умовах невизначеності основою для ухвалення рішень на основі мережі Байєса є процес обчислення ймовірностей стратегій переходу від одного до іншого стану системи. Розкриття невизначеності в МБ здійснюється через обчислення ймовірностей станів вершин на основі наявної інформації про значення інших вершин мережі, завдяки цим повідомленням система здійснює перехід до наступного стану [5].

Мережі Байєса представляють орієнтовані ациклічні графи, вершини яких є дискретні випадкові змінні зі скінченим числом станів, а ребра є причинними зв'язками між ними і характеризуються таблицею безумовних ймовірностей переходів з одного стану до іншого під впливом збурень. Отже, МБ характеризується парою чисел (G, P), де G = <X, E> – спрямований ациклічний граф на скінченій множині X, елементи якої поєднані між собою сукупністю орієнтованих ребер E, а P – множина умовних розподілів ймовірностей.

Властивості мережі Байєса:

– кожна вершина із множини X може приймати одне значення із скінченої множини взаємовиключних станів;

– кожній вершині $A \in X$ із змінними-батьками $B_1, B_2, \ldots, B_n$ поставлена у відповідність таблиця умовних ймовірностей $P(A/B_1, B_2, \ldots, B_n)$; якщо вершина A не має батьків, то використовуються безумовні ймовірності P(A) [6].

Використовуючи ймовірнісний математичний апарат, побудуємо граф з вершинами – факторами і показниками, що характеризують зсувні процеси Південного берега Криму і відображають причинно-наслідкові зв'язки між наведеними вище факторами і новими показниками, що враховують подолання наслідків руйнування від екзогенних процесів.

Поточний стан моделювання отримаємо за допомогою програми Netica, яка вільно розповсюджується Інтернетом (рис. 1).

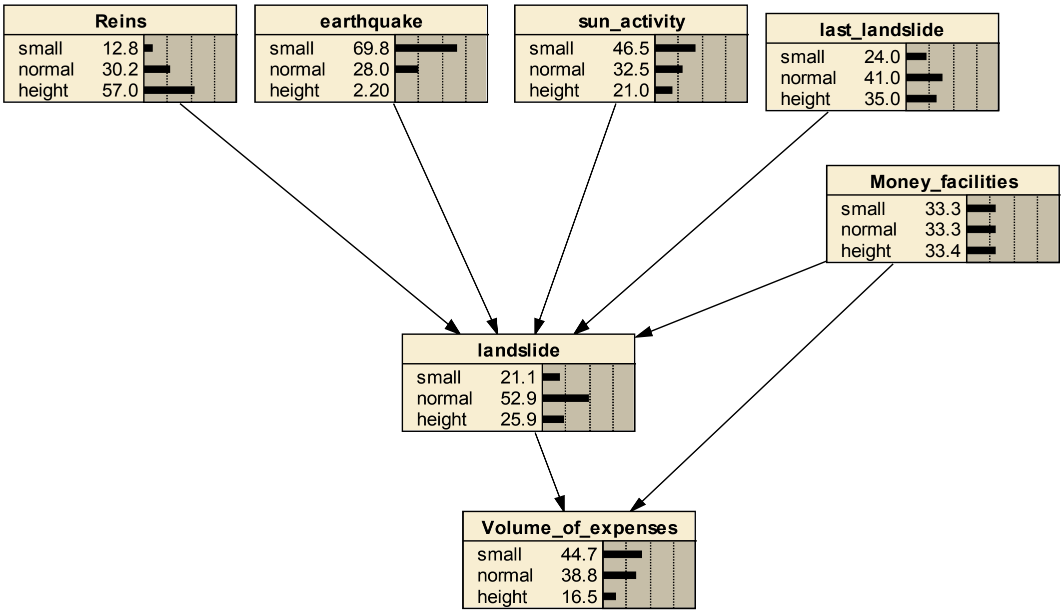


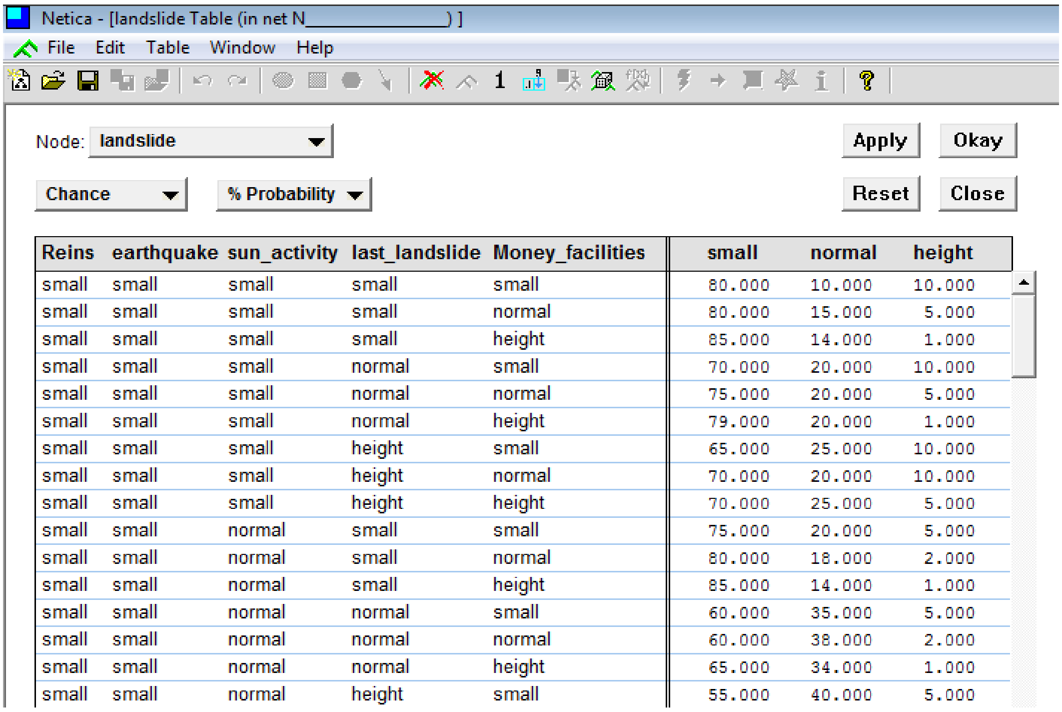
Рисунок 1 – Побудова мережі Байєса зсувних процесів Південного берега Криму

Таким чином, на першому рівні розташовано п'ять вершин: активні зсуви за попередній рік (*last_landslide*), опади (*reins*), землетруси (*earthquake*), сонячна активність (*sun_activity*) та керувальний фактор – кошти, які вкладають в протизсувні заходи (money_facilities). На другому – кількість активних зсувів (*landslide*). На третьому результуючий показник – обсяг витрат на боротьбу з наслідками зсувних процесів та на заходи, що мають укріплювати зсувонебезпечні ділянки (*volume_of_expenses*). Кожна вершина має три стани: *small, normal, height* (низький рівень, середній і високий відповідно).

Для першого фактора – Опади (*reins*) – нормальним рівнем будемо вважати середній рівень опадів плюс-мінус 10 % (від 90 % до 110 % середньої норми), перевищення 110 % рівня зазвичай приводить до активізації зсувних процесів [7]. Для інших факторів з першого рівня, окрім вершини – вкладені кошти в протизсувні заходи (*money_facilities*), заповнюємо таблиці значень за даними спостережень. Розмах варіації кожного фактора поділяємо на три рівних інтервали і обчислюємо кількість значень, поділену на кількість спостережень (ймовірність), що попали в кожний із них. Для вершини *money_facilities* покладемо ймовірності кожного стану по 1/3 = 33,3 %, як однаково ймовірні. Для вершин другого і третього рівня заповнюємо таблиці умовних ймовірностей.

Під навчанням будемо розуміти заповнення таблиць ймовірностей для вершин першого рівня, які можна заповнювати безпосередньо за даними спостережень, а також заповнення таблиць умовних ймовірностей (за допомогою експертів-фахівців

або при наявності великої кількості спостережень – за даними, що зібрані відповідними службами). Таблиці умовних ймовірностей для вершин *landslide* та *volume_of_expenses* матимуть 3^{5+1} і 3^{2+1} значень відповідно, що визначаються експертами, або заповнюються за результатами багаторічних спостережень. Частину таблиці для вершини *landslide* показано на рис. 2.



Reins	earthquake	sun_activity	last_landslide	Money_facilities	small	normal	height
small	small	small	small	small	80.000	10.000	10.000
small	small	small	small	normal	80.000	15.000	5.000
small	small	small	small	height	85.000	14.000	1.000
small	small	small	normal	small	70.000	20.000	10.000
small	small	small	normal	normal	75.000	20.000	5.000
small	small	small	normal	height	79.000	20.000	1.000
small	small	small	height	small	65.000	25.000	10.000
small	small	small	height	normal	70.000	20.000	10.000
small	small	small	height	height	70.000	25.000	5.000
small	small	normal	small	small	75.000	20.000	5.000
small	small	normal	small	normal	80.000	18.000	2.000
small	small	normal	small	height	85.000	14.000	1.000
small	small	normal	normal	small	60.000	35.000	5.000
small	small	normal	normal	normal	60.000	38.000	2.000
small	small	normal	normal	height	65.000	34.000	1.000
small	small	normal	height	small	55.000	40.000	5.000

Рисунок 2 – Частина таблиці умовних ймовірностей для вершини АЗ – landslide

При надходженні нових даних відбувається перерахунок результуючих показників, що має вирішальне значення при прийнятті управлінського рішення стосовно своєчасного попереджувального вкладення коштів, а також розподіл терміну вкладення, або негайне виділення додаткових сум на відновлення та відбудову пошкоджених доріг і будівель.

Наприклад, нехай надійшли дані, що впродовж декількох діб випала майже місячна кількість опадів (*reins (height*) = 100 %), кількість землетрусів, сонячна активність і попередня кількість зсувів у межах норми (*earthquake (normal)* = 100 %, *sun_activity (normal)* = 100 %, *last_landslide (normal)* = 100 %), а кошти вкладалися в досить малому розмірі (money_facilities (*small)* = 100 %). За результатами моделювання отримаємо такий результат: кількість активних зсувів середня – 65 %, висока – 32 % і малоймовірно, що відбудеться активізація в 3 % від загальної кількості. Обсяг витрат (*volume_of_expenses*) при цьому найімовірніше становитиме високе значення в 48,3 % , середнє – в 43,3 %, а низьке – в 8,32 % (рис. 3).

Таким чином, при халатному відношенні до протизсувних заходів ймовірність того, що загальний обсяг витрат буде становити високий рівень, сягає майже 50 відсотків в той час, коли ймовірність високого рівня кількості зсувів ледве дотягує до третини.

Для прийняття управлінського рішення необхідно визначити стратегії керування при деякому варіанті перебігу зсувного процесу. Нехай варіант протікання вже зазначений на рис. 3. Оскільки впливати на процес можна виключно за допомогою вкладення коштів у заходи укріплення, то постає питання про розрахунки опти-

мального обсягу вкладених коштів. Визначимо декілька стратегій керування. Перша стратегія: кошти не вкладаються, доки не відбудуться певні зсувні процеси (money_facilities (*small)* = 100 %). Друга стратегія: кошти вкладаються в середньому обсязі, але не регулярно (money_facilities (*normal)* = 100 %). Третя – вкладення коштів в повному обсязі (money_facilities (*height)* = 100 %). Розрахунок двох критеріїв: кількість активних зсувів та загальний обсяг витрат – для даного варіанта розвитку, краще значення якого і визначить оптимальну стратегію з числа розглянутих, наведено в табл. 4.

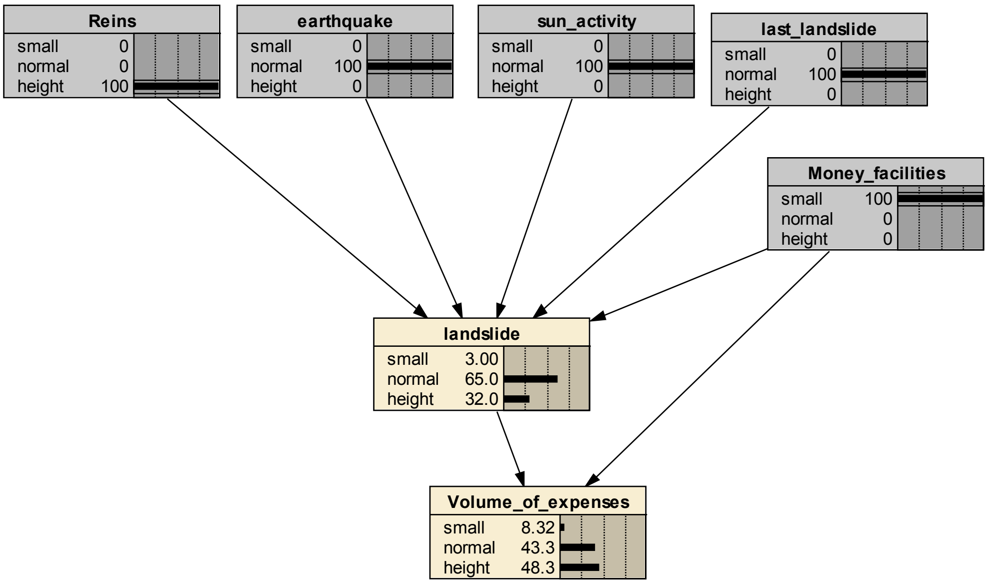


Рисунок 3 – Прогнозування зсувних процесів та обсягу витрат

Таблиця 4 – Результат моделювання за допомогою керуючого чинника вкладення коштів

Завчасне вкладення коштів – стратегії (*money_facilities*)	Кількість активних зсувів (*landslide*)			Загальний обсяг витрат (*Volume_of_expenses)*		
	small	*normal*	*height*	*small*	*normal*	*height*
Small =100 %	4 %	64 %	32 %	8,5 %	43,3 %	48,3 %
Normal = 100 %	3 %	75 %	22 %	41,8 %	48,5 %	9,7 %
Height = 100 %	2 %	86 %	12 %	58,2 %	36,3 %	5,5%

Згідно з отриманими розрахунками оптимальною стратегією вкладення коштів є стратегія, при якій спостерігається зменшення активізації зсувів і загального обсягу витрат, це можемо спостерігати навіть при другій стратегії, коли високі значення критеріїв становлять відповідно 22 % і 9,7 %, а низькі – 3 % і 41,8 %. При третій стратегії збільшення обсягу вкладення коштів у протизсувні укріплення активізація зсувів і витрати на відновлення будуть найменшими.

Отже, при поточному надходженні нових даних відбувається перехід до того чи іншого варіанта перебігу зсувних процесів, і відповідний розрахунок мінімізує вимушені витрати на відновлення ушкоджених об’єктів.

Виявляється, що за допомогою отриманої мережі довіри Байєса можна розраховувати апостеріорні ймовірності факторів. Наприклад, можна поставити таку задачу: при поточному стані перебігу зсувного процесу розрахувати, скільки треба вкласти коштів у протизсувні заходи, щоб загальний обсяг витрат був би мінімальним. Відповідь показана на рис. 4.

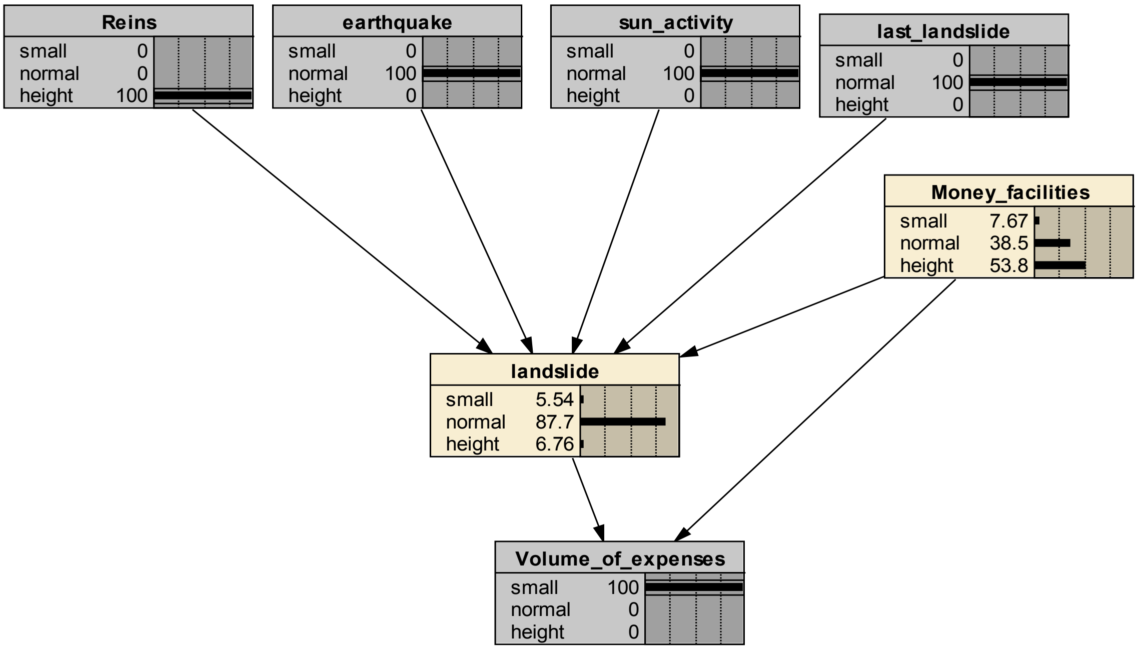


Рисунок 4 – Розрахунок ймовірностей вкладення коштів для мінімізації обсягу витрат

Представлений результат свідчить про обов’язкове вкладення коштів для подальшої мінімізації загальних витрат. Високий показник завчасного вкладення коштів має спостерігатися в 54 випадках із 100, середній – в 39, а малий – лише в 7.

Висновки

У статті розглянуто середньострокове (регресійний аналіз) і короткострокове (мережа Байєса) моделювання зсувних процесів на Південному березі Криму. Для мережі довіри Байеса побудовано граф і проведено її навчання, виконано відповідні розрахунки станів мережі, а також проведено розрахунок стратегії керування за допомогою показника: укріплення небезпечних ділянок (завчасно вкладені кошти).

Прогноз кількості активних зсувів на наступний рік слід виконувати з використанням регресійного аналізу з урахуванням авторегресійної складової, яка містить інформацію за попередній рік не лише гідрогеологічних чинників, а й прогнозованого показника – кількості активних зсувів за попередній рік.

Мережа Байєса дає можливість при надходженні нових даних спостережень за гідрометеорологічними, сейсмічними, сонячними та зсувними процесами ПБК оновлювати стратегії прийняття рішень згідно з обраними критеріями, а також оптимізувати витрати на попередження зсувних процесів або боротьбу з їх наслідками.

Отримана мережа Байєса може бути легко розширена новими вершинами з метою врахування нової інформації щодо перебігу і поточного стану досліджуваного процесу. Таблиці умовних апріорних ймовірностей якісних вершин слід заповнювати за допомогою експертів-фахівців або відповідних програмних засобів, а кількісних вершин – за допомогою статистичних даних спостережень.

Проведений аналіз показав, що використання мережі Байєса стає дедалі частішим при побудові СППР, які мають працювати в умовах невизначеності. Доцільно мережі Байєса використовувати при моделюванні процесів різного походження, що

дає можливість враховувати структурні та статистичні невизначеності досліджуваних процесів [8], зокрема МБ може бути використана для моделювання зсувів на Південному березі Криму.

Для наукових розробок в цій галузі метод використання мережі Байєса запропоновано вперше, він себе повністю підтверджує і надає особі, що ухвалює рішення, доволі точні результати розрахунків із розробки і втілення керуючого рішення.

Література

1. Сєлін Ю.М. Системний аналіз екологічно небезпечних процесів різної природи // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – № 2. – С. 22-32.
2. Таран В.М. Моделювання зсувних процесів Південного берегу Криму в умовах невизначеності // Нові технології. – 2007. – № 1-2 (15-16). – С. 259-265.
3. Таран В.М. Аналіз впливу кліматичних та фізичних факторів на зсувні процеси Південного берегу Криму // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі. Проблеми науки, практики та освіти». – Т. 2. – 2005. – С.140-144.
4. Таран В.М. Використання інтелектуальних систем при прогнозуванні зсувних процесів Південного берега Криму // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3. – С. 441-449.
5. Лук'яненко І.Г., Краснікова Л.І. Економетрика: Підручник. – К.: Знання, 1998. – 494 с.
6. Бідюк П.І., Клименко О.М., Шехтер Д.В. Принципи побудови застосування мережі Байєса // Інформаційні технології, системний аналіз та керування. – 2005. – № 5. – С. 14-25.
7. Круцик М.Д. Захист гірських автомобільних доріг від зсувів. – «Коломия», 2003. – 425 с.
8. Терентьев А.Н., Бидюк П.И. Метод вероятностного вывода в байесовских сетях по обучающим данным // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 3. – С. 93-99.

В.Н. Таран

Обучение сети Байеса при моделировании оползневых процессов Южного берега Крыма

Исследованы общие закономерности построения регрессионной модели оползневых процессов, содержащей авторегрессионную составляющую, на примере Южного берега Крыма. Добавлен управляющий фактор – заблаговременное вложение средств в противооползневые мероприятия, построена сеть доверия Байеса для прогноза общей стоимости восстановительных и укрепляющих склоны работ, а также проведено ее обучение.

V.M. Taran

Teaching of Bayesian network at the modeling of landslide's processes of the Southern coast of Crimea

General conformities to the law of construction of regressive model of landslide processes, containing a auto regressive constituent are investigational, on the example of the Southern coast of Crimea. A managing factor is added is the done early investment of facilities in anti landslide measures, the network of trust of Bayes is built for the prognosis of total worth of restoration and strengthening slopes works, and also its teaching is conducted.

Стаття надійшла до редакції 17.07.2008.